

Аретинский А.В.¹, Жиляков А.В.², Аретинский В.Б.²,
Шершевер А.С.³, Исупов А.Б.², Шориков Е.В.¹.

ПЭТ/КТ с 18F-FDG в уточняющей диагностике эпилепсии

1 — Центр ядерной медицины ООО «ПЭТ-Технолоджи», г. Екатеринбург, 2 — «Областной специализированный центр медицинской реабилитации “Озеро Чусовское”», г. Екатеринбург, 3 — ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, кафедра нервных болезней, нейрохирургии и медицинской генетики, г. Екатеринбург

Aretinskiy A.V., Zhilyakov A.V., Aretinskiy V.B., Shershever A.S., Isupov A.B., Shorikov E.V.

Utility of 18F-FDG PET/CT in the diagnostics of Epilepsy

Резюме

Определение локализации эпилептогенных очагов при диагностике эпилепсии является важным шагом, направленным на выбор тактики и улучшение результатов лечения. В настоящее время для диагностики эпилепсии чаще всего применяется ЭЭГ (электроэнцефалография), магнитно-резонансная томография (МРТ) и, в меньшей степени, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ). Чувствительность экстракраниальной ЭЭГ не превышает 56%, а при внутрикраниальном ЭЭГ высок риск осложнений. Несмотря на то что диагностическая ценность МРТ достаточно высока, у ряда пациентов (в особенности с фармакорезистентной эпилепсией) не удается выявить морфологические изменения. Одним из наиболее перспективных методов на сегодняшний день является диагностика с помощью позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), с использованием 18-фтордезоксиглюкозы (18F-FDG) в качестве радиотрей-сера. В данной статье систематизирован обзор литературы по данной проблеме за последние годы. Приводятся данные об информативности и диагностической ценности ПЭТ/КТ с 18F-FDG у пациентов с эпилепсией.

Ключевые слова: эпилепсия; позитронно эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией; 18-фтордезоксиглюкоза; магнитно-резонансная томография (МРТ); электроэнцефалография (ЭЭГ)

Summary

Detecting the localization of epileptogenic focuses (seizure lateralization) in cases of epilepsy is an important diagnostic step aimed at choosing tactics and improving treatment outcomes. Currently, EEG (electroencephalography), magnetic resonance imaging (MRI) and, to a lesser extent, single photon emission computed tomography (SPECT) are most commonly used to diagnose epilepsy. The sensitivity of extracranial EEG does not exceed 56%, while at intracranial EEG the risk of complications is high. Despite the fact that the diagnostic value of MRI is quite high, in a number of patients (especially with pharmacoresistant epilepsy), it is not possible to detect morphological changes. One of the most promising methods today is diagnostics using positron emission tomography, combined with computed tomography (PET/CT), using 18-fluorodeoxyglucose (18F-FDG) as a radiotracer. This article is a review of the literature on this issue in recent years. Data on informativity and diagnostic value of PET / CT with 18F-FDG in patients with epilepsy are presented.

Keywords: epilepsy; positron emission tomography/computed tomography; 18F-fluoro-2-deoxy-D-glucose; magnetic resonance imaging (MRI); electroencephalography (EEG)

Введение

Эпилепсия — это заболевание центральной нервной системы, характеризующееся периодически возникающими судорожными приступами, вызванными нарушением деятельности нервных клеток. Эпилепсией страдает почти 1%-2% населения. Для постановки диагноза — эпилепсия, необходимо, по крайней мере, два неспровоци-

рованных эпилептических приступа. Этиологически, эпилепсия классифицируется на идиопатическую, симптоматическую и криптогенную. Как полагают, идиопатические эпилепсии, имеют генетическую природу и, как правило, начинаются в детстве. Симптоматическая эпилепсия, в подавляющем большинстве случаев, вторична определенному поражению мозга, такому как ЧМТ, низ-

кому уровню кислорода во время родов, опухоли мозга, инфекции, инсульту. При криптогенной эпилепсии, ее причины неизвестны, но считается, что они могут быть выявлены при детальном обследовании [1,2].

Эпилептические припадки классифицируются Международной противоэпилептической Лигой (ILAE) на Фокальные (парциальные) и Генерализованные. Припадки, четко не попадающие под одну из выше названных категорий, следует считать неклассифицированными до момента получения дополнительной информации. Фокальные припадки (ФП) являются наиболее распространенной формой эпилепсии (приблизительно 50% пациентов). Височная эпилепсия (ВЭ) - это наиболее распространенная форма ФП. Медиальная (мезиальная) височная эпилепсия (МВЭ) является наиболее частой формой ВЭ. Мезиальный темпоральный склероз присутствует у 60-70% пациентов с МВЭ. В мезиальную височную область входят гиппокамп, миндалевидное тело, и парагиппокампальная извилина. На втором месте по распространенности находится лобная эпилепсия. Она характеризуется короткими приступами, возникающая несколько раз в день и часто во время сна.

Диагностика эпилепсии включает в себя полное физикальное и неврологическое обследование, экстракраниальные или интракраниальные электроэнцефалограммы (ЭЭГ), анализы крови, магнитно-резонансную томографию (МРТ), МР-спектроскопию, однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ) и позитронно-эмиссионную томографию, совмещенную с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ). Лечение с помощью лекарственных средств обычно снимает приступы у большинства пациентов. Однако, почти треть пациентов с эпилепсией становятся фармакорезистентными и требуют хирургического лечения. Мезиальный темпоральный склероз чаще всего фармакорезистентен, и в большей части случаев эффективным является оперативное лечение. Для успешной операции необходимо определение точной локализации эпилептического очага. ОФЭКТ головного мозга широко использовалась для визуализации эпилептических очагов. Чувствительность ОФЭКТ у пациентов с ВЭ была оценена в 44% (интериктальный период), 75% (после припадка) и 97% (иктальный период) [3]. Иктальная диагностика является наиболее чувствительной, но ее сложно использовать, так как припадок длится всего несколько минут и радиофармпрепарат должен быть подготовлен конкретно к этому времени. ПЭТ совмещенный с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) обеспечивает лучшее качество изображения и более высокое разрешение по сравнению с ОФЭКТ и позволяет производить полуколичественные измерения. Существует множество радиотрейсеров, но наиболее часто используемым является 18-фтордезоксиглюкозы (18F-FDG).

На данный момент 18F-FDG ПЭТ/КТ, является относительно широко доступным методом визуализации при эпилепсии в западном мире. 18F-FDG представляет собой "меченый" радио-активный изотоп - аналог глюкозы. Высокий диагностический потенциал метода обусловлен возможностью при одном исследовании

оценить, как анатомические, так и функциональные (метаболические) изменения в органах и системах, за счет анализа уровня метаболической активности введенного радиофармпрепарата (18F-FDG) в патологическом очаге [4]. Глюкоза является основным источником энергии головного мозга. Метаболизм глюкозы тесно связан с его нейрональной активностью. 18F-FDG транспортируется из крови в клетки мозга при помощи специфических транспортеров глюкозы, преимущественно GLUT1. Оказавшись в клетке, ФДГ фосфорилируется гексокиназой в ФДГ-6-фосфат. Так как дальнейший метаболизм ФДГ-6 в клетке невозможен, он остается запертым внутри нее. Именно данный сигнал из клеток улавливает гамма-камера, установленная в аппарате ПЭТ/КТ.

Протокол проведения ПЭТ/КТ при эпилепсии и сравнение его эффективности с другими методиками.

Протокол ПЭТ/КТ исследования головного мозга широко описан в руководствах "Society of nuclear medicine 2009г (SNM)" и "European Association of Nuclear Medicine 2013г (EANM)".

В течение 4-6 часов до исследования, пациенты должны воздерживаться от приема пищи, а также кофеина, алкоголя или лекарственных средств, способных повлиять на метаболизм глюкозы в головном мозге. К ним относятся различные успокоительные средства, амфетамины, кокаин, наркотики, антипсихотические препараты и некоторые кортикостероиды [5].

Перед введением 18F-FDG обязательно должен быть проверен уровень глюкозы в крови. Если показатель превышает 150-200 мг/дл, исследование следует перенести на другой срок. При гипергликемии, высокий уровень циркулирующего инсулина направляет 18F-FDG в мышцы и таким образом приводит к низкому накоплению глюкозы в головном мозге [5,6].

Для предоперационной оценки эпилепсии, рекомендуется непрерывная, синхронная запись ЭЭГ во время исследования. На современном ПЭТ/КТ, визуализация может быть завершена в течение 5 минут [6].

У взрослого человека, наблюдается высокое накопление 18F-FDG в коре головного мозга, мозжечка, сером веществе и малое накопление ФДГ в белом веществе. Накопление 18F-FDG у детей зависит от их возраста. По данным Stanesku L. у младенцев в подавляющем большинстве случаев отмечается диффузно низкая метаболическая активность [7]. Согласно исследованиям Chugani H. после 4-месячного возраста наблюдается стремительное увеличение мозгового метаболизма глюкозы, достигая своего пика на уровне 4 лет. Этот уровень метаболической активности выше, чем у взрослых [8]. Herholz K. показал, что при процессах старения, наблюдается снижение уровня метаболизма 18F-FDG головного мозга, преимущественно в области передней поясной коры и латеральной и медиальной лобной коры [9]. В патологических зонах может отмечаться как повышенная, так и пониженная метаболическая активность 18F-FDG, либо ее полное отсутствие. Уровень метаболизма 18F-FDG

помогает выявить патологические очаги, которые не определяются при визуальной оценке (КТ \ МРТ). ПЭТ/КТ-исследования обычно проводят в межприступном периоде (интериктальный), когда в зоне интереса определяется очаговый гипометаболизм. Исследования во время приступа (иктальный период) выполнить значительно сложнее, так как большинство приступов непредсказуемы и краткосрочны [6].

Хотя ЭЭГ продолжает играть центральную роль в диагностике и ведении пациентов с эпилепсией, чувствительность данного метода остается относительно низкой, по некоторым данным от 25 до 56%. В частности, экстракраниальным ЭЭГ, могут быть не обнаружены субклинические приступы. А внутрикраниальное ЭЭГ может привести к массе осложнений. МРТ является высоко чувствительным и специфичным методом для выявления склероза гиппокампа, а также ряда других структурных изменений, вызывающих эпилепсию, но значительный его недостаток заключается в невозможности выявить какую-либо видимую патологию примерно у 20% пациентов с фармакорезистентной эпилепсией. МРТ может пропустить минимальный склероз гиппокампа и тонкие структурные повреждения. Такие методики как МР-спектроскопия, МР-перфузия и функциональная МРТ могут дать дополнительную информацию, но они требуют особенных высокопроизводительных сканеров МРТ, подчас недоступных.

Согласно результатам исследований Won HJ, 18F-FDG -ПЭТ/КТ обладает значительно большей чувствительностью, чем ЭЭГ и МРТ в предоперационном определении локализации эпилептогенных очагов у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией [10]. В том же исследовании чувствительность 18F-FDG -ПЭТ/КТ в височной эпилепсии была оценена в 84%. В последующие годы, по данным многочисленных исследований чувствительности 18F-FDG -ПЭТ/КТ, данный показатель достиг 87-90% [10,11]. По данным Gok B. 18F-FDG -ПЭТ/КТ в интериктальной фазе был в состоянии латерализовать эпилептогенный очаг в 95% положительных, 69% неоднозначных и 84% негативных случаев на МРТ [12].

В исследовании, проведенном Rathore S. приняли участие 194 пациента с эпилепсией, средний возраст которых, составил 32.5 года. Каждый прошел сначала МРТ исследование и затем 18F-FDG ПЭТ/КТ. Из них у 158 не было выявлено патологии на МРТ головного мозга и у 72 на ПЭТ. В 98 случаях ПЭТ/КТ показал односторонний гипометаболизм и в 24 двусторонний. ПЭТ/КТ данные в дальнейшем подтвердились у 103 пациентов (53%). 12 из них были успешно прооперированы согласно данным ПЭТ/КТ [13].

У детей с лобной эпилепсией, чувствительность и специфичность 18F-FDG ПЭТ/КТ составляет 92% и 62,5%, соответственно [14].

В большинстве случаев 18F-FDG -ПЭТ/КТ проводят в интериктальный период. Наблюдения Buch K. свидетельствуют, что интериктальный ПЭТ/КТ обладает большей чувствительностью, нежели интериктальный

ОФЭКТ (SPECT). Данные исследования показывают существенно большее снижение регионарного метаболизма 18F-FDG в головном мозге, нежели регионарной перфузии головного мозга в интериктальный период на ОФЭКТ [15]. Интериктальный ПЭТ/КТ является высоко чувствительным методом для латерализации эпилептогенного очага, но между тем, он не может точно определить операционную зону, так как зона гипометаболизма, как правило, выходит за пределы эпилептогенного очага. В частности, не всегда есть возможность дифференцировать эпилептогенную зону в медиальной височной доле, от латеральной, так как гипометаболизм ФДГ может распространяться и на интактную латеральную долю.

Buch K. и др. в своих исследованиях так же сравнивали интериктальный 18F-FDG -ПЭТ/КТ и иктальный ОФЭКТ. У 117 больных, прооперированных по поводу фармакорезистентной эпилепсии, интериктальный ПЭТ/КТ и иктальный ОФЭКТ правильно локализовали очаги в 77,7%, и 70,3% случаев, соответственно [15]. В другом исследовании, 18F-FDG -ПЭТ/КТ и ОФЭКТ правильно латерализовали очаг в 85% и 73% случаев соответственно.

В исследовании Hassan и др. сравнил МРТ, 18F-FDG -ПЭТ/КТ и ОФЭКТ при височной эпилепсии [16]. Всего приняло участие 137 пациентов, в дальнейшем прооперированных по поводу фармакорезистентной формы эпилепсии. Каждому из участников исследования перед операцией последовательно были проведены МРТ, ПЭТ/КТ и ОФЭКТ совместно с ЭЭГ. При ретроспективном послеоперационном анализе, оценивалась чувствительность каждого из методов. Из 137 пациентов, у 104 были найдены изменения при МРТ ГМ, в то время как у 33 результаты оказались отрицательными. В МРТ позитивной группе чувствительность выше обозначенных методов оценивалась в 72%, 83%, 73% соответственно. В МРТ негативной группе показатель в 18F-FDG -ПЭТ/КТ и ОФЭКТ составил 82% и 58% соответственно.

По данным Iwasaki M. Et al. 18F-FDG ПЭТ/КТ особенно эффективен при фармакорезистентной, МРТ негативной височной эпилепсии [17]. По их мнению, послеоперационный исход МРТ негативной и ПЭТ/КТ позитивной височной эпилепсии сравним с эпилепсией с гиппокампальным склерозом.

Согласно исследованиям, Gokdemir S. Et. Al. из 72 ПЭТ/КТ позитивных по височной эпилепсии пациентов, у 26 на МРТ патологии найдено не было [18]. В дальнейшем было прооперировано 43 пациента и 37 из них были ПЭТ/КТ позитивными. Таким образом автор оценил чувствительность метода в 86%.

Исследования показали, что 18F-FDG -ПЭТ/КТ с определенной долей точности может предсказать результат хирургического лечения. По данным Willman O. [19], чем более существенным был уровень гипометаболизма в очаге до операции, тем более вероятным будет наилучший контроль приступов в послеоперационном периоде. Ощутимый экстраатемпоральный и двусторонний темпоральный гипометаболизм, в большей части случаев вел к частым послеоперационным приступам. В 86% случаев

односторонний гипометаболизм оказывался предиктором хорошего исхода.

Исследования ПЭТ/КТ проведенные в постиктальный период, показывали, как гиперметаболизм, так и гипометаболизм 18F-FDG в очаге, в зависимости от времени инъекции РФП от последнего приступа Leiderman DB et. Al. [20]. В ранней фазе после приступа (судороги в течение 15 мин до инъекции 18F-FDG) ПЭТ/КТ демонстрировала очаговый гиперметаболизм у 3 детей. Наиболее заметный регионарный гипометаболизм, был отмечен, более чем через 48 часов после приступа. В течение 24 часов уровень метаболической активности 18F-FDG был усредненным. Таким образом, авторы пришли к выводу, что для того чтобы, метаболическая активность в очаге пришла к своему стандартному низкому уровню, необходимо более 24 часов с момента приступа.

Кроме выявления эпилептогенного очага, в предоперационном периоде 18F-FDG ПЭТ/КТ дает возможность оценить функциональное состояние остальной ткани головного мозга. Интериктальный 18F-FDG-ПЭТ/КТ является лучшим методом визуализации для оценки зон функционального дефицита (FDZ). FDZ это область мозга, в которой в межприступный период отмечается атипичная активность ФДГ. Экстратемпоральный гипометаболизм не редкое явление при височной эпилепсии и, как было сказано выше, ассоциируется с плохим исходом после операции. В исследовании Choi JI [21] из 47 пациентов с височной эпилепсией, у 18 гипометаболизм отмечался только с одной стороны; тогда как у остальных 29 пациентов так же визуализировался контрлатеральный и двусторонний гипометаболизм, который не-возможно было оценить при стандартных методах визуализации (КТ/МРТ).

Заключение

Получение функциональной и морфологической информации о головном мозге, ставшее доступным благодаря внедрению ПЭТ/КТ, является важнейшей частью предоперационной оценки эпилепсии. На сегодняшний день, в ряде западных стран, 18F-FDG ПЭТ/КТ регулярно используется для выявления локализации эпилептогенного очага у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией. Интериктальный 18F-FDG ПЭТ/КТ показал себя более чувствительным методом, чем интерикталь-

ный ОФЭКТ и имеет особенную ценность в определении эпилептических очагов у пациентов с нормальными результатами ЭЭГ и МРТ или же результатами данных методик, противоречащих друг другу. В дополнение к дифференцированию эпилептического очага, 18F-FDG ПЭТ/КТ дает важную информацию о функциональном состоянии остальной ткани мозга. Основным ограничением интериктального 18F-FDG ПЭТ/КТ является невозможность точно определить зону оперативного лечения, так как очаг гипометаболизма часто выходит за пределы эпилептогенного очага. Так же с помощью 18F-FDG ПЭТ/КТ не всегда можно разграничить мезиальную височную эпилепсию от латеральной, в силу того, что зона гипометаболизма ФДГ может распространяться и на интактную латеральную область височной доли. Суммируя выше сказанное, представляется рациональным, дальнейшее изучение данной темы на предмет возможности внедрения методики 18F-FDG ПЭТ/КТ для выявления эпилептогенных очагов у больных с фармакорезистентной формой эпилепсии и в особенности у пациентов с “нормальной” МР картиной. ■

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Аретинский А.В., врач рентгенолог, радиолог Центра ядерной медицины ООО «ПЭТ-Технолоджи», **Жиляков А.В.** к.м.н, хирург-артролог, ГАУЗ СО ОСЦМР «Озеро Чусовское», **Аретинский В.Б.** д-р мед. наук, проф. кафедры физиотерапии, ЛФК и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет», главный врач ГАУЗ СО ОСЦМР «Озеро Чусовское»; **Шершевер А.С.** д-р мед. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, кафедра нервных болезней, нейрохирургии и медицинской генетики, г. Екатеринбург. **Исупов А.Б.** к.м.н., врач-невролог, заведующий научно-методологическим отделом ГАУЗ СО «ОСЦМР «Озеро Чусовское» г. Екатеринбург. **Шориков Е.В.**, к.м.н, главный врач Центра ядерной медицины ООО «ПЭТ-Технолоджи», Автор, ответственный за переписку — **Аретинский Александр Витальевич, are-tinskyi@gmail.com, +79126276789**

Литература:

1. Marina Hodolic, Raffi Topakian, Robert Pichler. 18F-fluorodeoxyglucose and 18F-flumazenil positron emission tomography in patients with refractory epilepsy. *Radiology and Oncology. Volume 50, Issue 3. 2016; 247–253*
2. Ismet Sarikaya. PET studies in epilepsy. *Am J Nucl Med Mol Imaging. 2015; 5(5): 416–430*
3. Devous MD Sr, Thisted RA, Morgan GF, Leroy RF, Rowe CC. SPECT brain imaging in epilepsy: a meta-analysis. *J Nucl Med. 1999; 285-293*
4. Аретинский А.В., Терновой С.К. ПЭТ/КТ с 18F-FDG в уточняющей диагностике рака тела матки. *REJR 2018; 8(3): 20-29.*
5. Society of Nuclear Medicine Procedure Guideline for FDG PET Brain Imaging Version 1.0. approved February 8, 2009; 1-11.
6. Franck Semah, Gregory Petyt. Clinical applications of PET/CT in neurology. *Principles and Practice of PET/CT. 2017; 159-161*
7. Stanescu L, Ishak GE, Khanna PC, Biyyam DR, Shaw

- DW, Parisi MT. FDG PET of the brain in pediatric patients: imaging spectrum with MR imaging correlation. *Radiographics*. 2013;1279-1303
8. Chugani HT, Phelps ME. Imaging human brain development with positron emission tomography. *J Nucl Med*. 1991;23-26
 9. Herholz K, Salmon E, Perani D, Baron JC, Holthoff V, Frölich L, et al. Discrimination between Alzheimer dementia and controls by automated analysis of multicenter FDG PET. *Neuroimage*. 2002; 302-316
 10. Won HJ, Chang KH, Cheon JE, Kim HD, Lee DS, Han MH, et al. Comparison of MR imaging with PET and ictal SPECT in 118 patients with intractable epilepsy. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1999; 593-599
 11. Kim YK, Lee DS, Lee SK, Chung CK, Chung JK, Lee MC. (18)F-FDG PET in localization of frontal lobe epilepsy: comparison of visual and SPM analysis. *J Nucl Med*. 2002; 1167-74
 12. Gok B, Jallo G, Hayeri R, Wahl R, Aygun N. The evaluation of FDG-PET imaging for epileptogenic focus localization in patients with MRI positive and MRI negative temporal lobe epilepsy. *Neuroradiology*. 2013; 541-50
 13. Rathore C, Dickson JC, Teotónio R, Ell P, Duncan JS. The utility of 18F-fluorodeoxyglucose PET (FDG PET) in epilepsy surgery. *Epilepsy Res*. 2014;1306-1314
 14. Da Silva EA, Chugani DC, Muzik O, Chugani HT. Identification of frontal lobe epileptic foci in children using positron emission tomography. *Epilepsia*. 1997,2006; 1198-1208
 15. Buch K, Blumenfeld H, Spencer S, Novotny E, Zubal IG. Evaluating the accuracy of perfusion/metabolism (SPET/PET) ratio in seizure localization. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2008; 579-588
 16. Hassan Kassema, Fahd El Shiekhb, Ahmed Wafaiee, Sherif Abdelfattahc, Hussein Farghalyd, Lamia Afifie. Presurgical evaluation of refractory temporal lobe epilepsy: Comparison of MR imaging, PET and ictal SPECT in localization of the epileptogenic substrate. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine Volume 44, Issue 3, 2013; 641-649*
 17. Masaki Iwasaki, Kazutaka Jin, Nobukazu Nakasato, Teiji Tominaga. Non-invasive Evaluation for Epilepsy Surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2016; 632-640
 18. Gokdemir SI, Halac M, Albayram S, Oz B, Yeni N, Uzan M, Ozkara C. Contribution of FDG-PET in epilepsy surgery: consistency and postoperative results compared with magnetic resonance imaging and electroencephalography. *Turk Neurosurg*. 2015; 53-57
 19. Willmann O, Wennberg R, May T, Woermann FG, Pohlmann-Eden B. The contribution of 18F-FDG PET in preoperative epilepsy surgery evaluation for patients with temporal lobe epilepsy A meta-analysis. *Seizure*. 2007; 509-520
 20. Leiderman DB, Albert P, Balish M, Bromfield E, Theodore WH. The dynamics of metabolic change following seizures as measured by positron emission tomography with fludeoxyglucose F 18. *Arch Neurol*. 1994; 932-936
 21. Choi JY, Kim SJ, Hong SB, Seo DW, Hong SC, Kim BT, et al. Extratemporal hypometabolism on FDG PET in temporal lobe epilepsy as a predictor of seizure outcome after temporal lobectomy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2003; 581-587